

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-195843

(43)Date of publication of application : 21.07.1999

(51)Int.Cl.

H01S 3/18
H01S 3/18
H04B 10/02
H04B 10/18
H04B 10/28

(21)Application number : 10-297953

(71)Applicant : LUCENT TECHNOL INC

(22)Date of filing : 20.10.1998

(72)Inventor : ADAMS LAURA ELLEN
BETHEA CLYDE GEORGE
ESKILDSSEN LARS ERIK
NYKOLAK GERALD
PEOPLE ROOSEVELT
TANBUN-EK TAWEE

(30)Priority

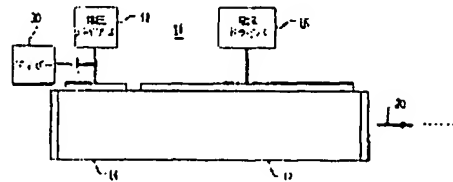
Priority number : 97 954576 Priority date : 20.10.1997 Priority country : US

(54) LASER TRANSMITTER FOR REDUCED SBS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce stimulus Brillouin scattering by, related to an optical fiber system, comprising an integral internal void synthesis reflector, to which tuning voltage and dither signal are added for tuning in broad band.

SOLUTION: A semiconductor laser 10 which allows broad band tuning comprises a gain section 12 and an internal void synthesis reflector section 14, and a current driver 16 supplies a current to the gain section 12 for generating an output signal 20. A forward bias DC voltage is supplied to the synthesis reflector section 14 from a bias source 18 for controlling a phase of an optical field in the void inside laser, thus carrier frequency of an output signal is roughly adjusted. Further, the output signal is combined to a transfer medium having tendency to generating stimulus Brillouin scattering(SBS). In order for reducing the SBS, a dither signal of relatively low frequency and low voltage is further added to the synthesis reflector section 14. The spectrum of the output signal is widened for increased SBS threshold.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 20.01.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 16.06.2003

[Kind of final disposal of application other than
the examiner's decision of rejection or
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-195843

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月21日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	F I		
H 0 1 S 3/18	6 4 4	H 0 1 S 3/18	6 4 4	
	6 3 2		6 3 2	
H 0 4 B 10/02		H 0 4 B 9/00	M	
10/18			W	
10/28				

審査請求 未請求 請求項の数12 O L 外国語出願 (全 31 頁)

(21) 出願番号	特願平10-297953	(71) 出願人	596092698 ルーセント テクノロジーズ インコーポ レーテッド アメリカ合衆国. 07974-0636 ニュージ ャーシイ, マレイ ヒル, マウンテン ア ヴェニュー 600
(22) 出願日	平成10年(1998)10月20日	(72) 発明者	ローラ エレン アダムス アメリカ合衆国 07920 ニュージャーク イ, パスキング リッジ, モナーク サー クル 70
(31) 優先権主張番号	0 8 / 9 5 4 5 7 6	(74) 代理人	弁理士 岡部 正夫 (外11名)
(32) 優先日	1997年10月20日		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

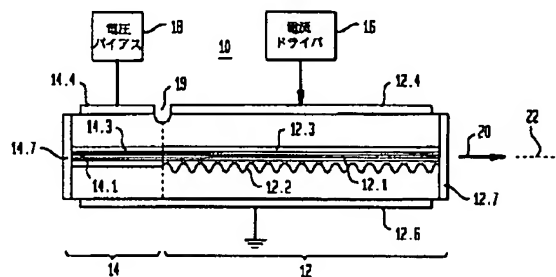
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 低減されたSBSのためのレーザ送信器

(57) 【要約】

【課題】 本発明は一般的にはレーザ送信機、より詳細には光ファイバシステムで発生する刺激ブリュアン散乱 (Stimultaed Brillouin Scattering: SBS) を低減するのに有効な広帯域調整可能な半導体レーザ送信機を提供する。

【解決手段】 本発明による調整可能な半導体レーザは、MQWのアクティブ領域、一様なピットの格子を持つDFB領域、および第1の導波路を持つ利得セクションを含む。この半導体レーザは、さらに、DFB領域との間で空胴共振器を形成する合成反射器を含むが、これは、MQWの第2の領域および第2の導波路を含む。合成反射器に調整電圧を加えることで、屈折率の変化が引き起こされ、これによって、搬送周波数を変化させることが可能となる。ディザ信号を合成反射器に加えることで、レーザ出力のスペクトラムの幅が広げられ、これによって、光ファイバシステム内で発生するSBSが低減される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ送信機であって、この送信機が：光ファイバに光出力信号をN個の異なる縦モードの任意の一つにて供給するためのチューナブルレーザ源を含み、このレーザ源がMQW のアクティブ領域、前記アクティブ領域に光学的に結合されたこれがレージングする縦モードの公称波長を選択するDFB 領域、および前記アクティブ領域に光学的に結合されたレーザ出力信号が出ることを許す第1の導波路を含む利得セクション、および前記第1の導波路の一端に光学的に結合された前記DFB 領域との間でキャビティ共振器を形成する合成反射器を含み、この合成反射器が、前記MQW のアクティブ領域に光学的に結合されたMQW の第2の領域、一端が前記第1の導波路に光学的に結合された第2の導波路、および前記第2の導波路の他端の所に配置された比較的高い反射率を持つ誘電層を含み、この送信機がさらに、前記MQWの第2の領域に調整電圧を加えることで、この中に屈折率の変化を引き起こし、これによって、前記出力信号の搬送周波数を変化させるための第1のチューナ手段、およびドライブ電流を前記アクティブ領域に加えるためのドライバ手段を含み、前記アクティブ領域に加えられる電流と前記第1の導波路の形状が互いに前記N個の縦モードが本質的に同一の閾値利得を持ち、かつ、前記DFB 領域の前記第1の導波路がその間を延びる部分がN個のゾーンにセグメント化されるように適合され、各ゾーンが光信号（光フィードバック）を前記複数の縦モードの異なる一つに対応する一つの異なる波長にて供給し、この送信機がさらに前記出力信号のスペクトルの幅を広げ、結果として前記ファイバ内で発生するSBS を低減する効果があるディザ信号を前記MQW の第2の領域に加えるディザ源を含むことを特徴とするレーザ送信機。

【請求項2】 前記ディザ信号が三角波形を持つことを特徴とする請求項1のレーザ送信機。

【請求項3】 さらに、情報を前記出力信号上に印加するための変調器を含み、前記ディザ信号の周波数が、前記変調器がデジタルシステムの変調器である場合は、変調出力信号のビット速度よりかなり低く、前記変調器がアナログ信号の変調器である場合は、変調周波数よりかなり低くされることを特徴とする請求項1のレーザ送信機。

【請求項4】 前記変調器が前記レーザと一体化された電子吸収変調器であることを特徴とする請求項3のレーザ送信機。

【請求項5】 前記第1の導波路部分が（発明の実施の形態の段落に記述される）式（1）によって定義されるライズドサイン（二乗正弦）関数に従う形状をことを特徴とする請求項1のレーザ送信機。

【請求項6】 前記アクティブ領域がセグメント化されていない単一の領域であり、さらに、前記ドライブ電流

をこの領域に実質に一樣に加えるためのセグメント化されていない単一の電極が含まれることを特徴とする請求項1のレーザ送信機。

【請求項7】 前記調整電圧が前記合成反射器を順方向にバイアスし、これによって、この中にプラズマ効果を介して屈折率の変化を引き起こし、これによって前記出力信号内の残留AMが低減されることを特徴とする請求項1のレーザ送信機。

【請求項8】 WDM 光システムであって、このシステムがレーザ信号に応答してSBS を生成する傾向を持つ光ファイバ、および前記光ファイバに結合された光出力信号をこのWDM システムのN個のチャネルに対応するN個の異なる縦モードの任意の一つにて供給するためのチューナブルレーザ源を含み、このレーザ源がセグメント化されていない単一のInGaAsP MQW のアクティブ領域、前記アクティブ領域に光学的に結合されたこれがレージングする縦モードの公称波長を選択するための一様ピッチの格子を含むDFB領域、前記アクティブ領域に光学的に結合された第1のInGaAsP 導波路、および前記第1の導波路の一端に光学的に結合されたレーザ出力信号が出ることを許す比較的低い反射率を持つ第1の誘電体反射器を含む利得セクション、および前記第1の導波路の他端に光学的に結合された前記DFB 領域との間に空洞共振器を形成する合成反射器を含み、この合成反射器が、前記MQW のアクティブ領域に光学的に結合されたInGaAsP の第2の領域、一端が前記第1の導波路に光学的に結合された第2のInGaAsP 導波路、および前記第2の導波路の他端に光学的に結合された比較的高い反射率を持つ第2の誘電層反射器を含み、

前記第1の導波路が、第1の部分と、第1の部分とを前記合成反射器に光学的に結合する第2の部分とを含み、前記第1の部分の形状が本質的に（発明の実施の形態の段落に記述される）式（1）のライズドサイン関数に対応し、前記第2の部分の形状が本質的に式（2）の直線関数に対応し、このレーザ源がさらに前記MQWの第2の領域に順バイアス電圧を加えることで、この中に屈折率の変化を引き起こし、これによって、前記出力信号の搬送周波数を変化させるためのチューナ手段、およびドライブ電流を前記アクティブ領域の少なくとも前記第1の導波路に光学的に結合された幾つかのセクションに加えるためのドライバ手段を含み、前記第2の電極手段が、電流を前記アクティブ領域に実質的に一樣に加えるためのセグメント化されていない単一の電極から成り、前記アクティブ領域に加えられる電流と前記第1の導波路の形状が互いに前記N個の縦モードが本質的に同一の閾値利得を持ち、かつ、前記DFB 領域の前記第1の導波路がその間を延びる部分がN個のゾーンにセグメント化されるように適合され、各ゾーンが光信号（光フィードバック）を、前記複数の縦モードの異なる一つおよび前記N個のチャネルの異なる一つに対応する異なる波長に

て供給し、このレーザ源がさらに、情報を前記出力信号上に印加するための前記レーザと一体化された電子吸収変調器、および前記出力信号のスペクトラムの幅を広げる効果のあるディザ信号を前記MQWの第2の領域に加えることで前記ファイバ内のSBSを低減するためのディザ源を含み、前記ディザ信号の周波数が、前記変調器がデジタルシステムの変調器である場合は、変調出力信号のビット速度よりかなり低く、前記変調器がアナログ信号の変調器である場合は、変調周波数よりかなり低くされることを特徴とするWDM光システム。

【請求項9】 前記のN個のチャンネルが、約1549nm乃至1561nmの周波数レンジに渡り、前記レーザ源が前記レンジを通じて連続的に調整できることを特徴とする請求項8のWDM光システム。

【請求項10】 光システムであって、この光システムがレーザ信号にตอบสนองしてSBSを生成する傾向を持つファイバ、および前記ファイバに結合される変調されたチューナブル半導体レーザ出力信号を生成するための集積光回路を含み、この光回路が、前記出力信号を生成するチューナブル半導体レーザ源と情報を前記出力信号上に印加する半導体変調器を含み、これらがタンデムに配置され、前記レーザ源が、DFB利得セクションによって形成される前記レーザ信号をある与えられた搬送周波数にて生成する空洞共振器、前記共振器内のレーザ信号の位相を変化させるための合成反射器、調整電圧を前記合成反射器に加えることで前記出力信号の位相、従って前記出力信号の搬送周波数を変化させる調整源、および前記出力信号のスペクトラムの幅を広げ、これによって、前記ファイバ内で生成されるSBSを低減するために前記合成反射器にディザ信号を加えるディザ源を含むことを特徴とする光システム。

【請求項11】 前記ディザ信号が三角波形を持つことを特徴とする請求項10の光システム。

【請求項12】 前記ディザ信号の周波数が、前記変調器がデジタルシステムの変調器である場合は、変調出力信号のビット速度よりかなり低く、前記変調器がアナログ信号の変調器である場合は、変調周波数よりかなり低くされることを特徴とする請求項10の光システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】 本出願は、『Broadband Tunable Semiconductor Laser Source』なる名称の特許出願第08/954305号、「広帯域ネットワーク内でのサブキャリア多重化」なる名称の平成10年特許願第297952）、および「信号の歪みを低減するのに有効な送信器」なる名称の平成10年特許願第297954号と同時に出願されているため、これら特許出願についても参照されたい。

【0002】

【発明の分野】 本発明は一般的にはレーザ送信機、より

詳細には光ファイバシステムで発生する刺激ブリュアン散乱 (Stimulated Brillouin Scattering: SBS) を低減するのに有効な広帯域調整可能な半導体レーザ送信機に関する。

【0003】

【発明の背景】 刺激ブリュアン散乱 (SBS) は、光ファイバシステムのシステム性能に悪影響を与える多数の非線形現象の一つである。シリカファイバ内でのブリュアン散乱 (Brillouin scattering) は、音響波 (つまり、音波) によって局所的に誘引される屈折率の変動の結果として散乱される光子に起因する。これら屈折率の変動は、ファイバコアを構成するシリカの結晶格子内での音響振動に起因する。さらに、非線形レジームにおいては屈折率は光の強度に依存するために、ファイバ内に強い光が存在する場合もシリカの結晶格子に振動が起こり、このために音響波が生成され、この結果光がより多く散乱することとなる。SBS 閾値電力が超えられた場合 (これは幾つかのWDMシステムにおいては10mW/チャンネルという低い値を持つが)、強い順方向に伝播する信号 (例えば、伝送信号) からの光が逆方向に伝播する信号 (ストークス信号 (Stokes signal) として知られる) に利得が与え (つまり、ストークス信号を刺激し)、このため、このストークス信号が伝送信号を著しく劣化させることがある。

【0004】 一方、多くの用途においては伝送信号は比較的高い電力にて発射されることを要求される。このため、SBSを含めて最大発射電力を制限するような要因は問題となる。例えば、発射電力が制限されると、光ファイバ伝送システム内の許容無中継間隔の長さや、ファイバを基礎とする配信システム (例えば、CATVシステム) 内で用いることが許されるスプリット (ファンアウト) の数は低減する。この問題を解消するための一つの方法は、SBSが最初に発生する電力のレベルを上げる (つまり、SBS閾値を増加する) 方法である。このSBS閾値は任意的に逆方向ストークス信号の電力がレイリー (Rayleigh) 散乱信号の電力と等しくなる、つまり、総反射電力が2倍になる、発射光電力のレベルとして定義される。

【0005】 過去にもSBS閾値を増加させる様々な方法が考案されているが、どれも完全とはいえない。これら方法の多くは、SBSの効率は伝送信号のライン幅を増加すると低減するという事実に基づく。つまり、源のスペクトラム幅を変調を介して人為的に広げることで、SBS閾値が増加される。ただし、一つのアプローチでは、レーザ送信機の出力を変調するために外部位相変調器が必要となる。つまりこの外部位相変調器を用いて伝送信号のスペクトラムの幅がその位相をランダムに変化させることで広げられる。第2のアプローチにおいては、波長のディザリングあるいは逆調整 (detuning) が利用される。このアプローチでは、小型の特殊な加熱素子を用い

てレーザの温度が局所的に変化され、これによって、波長がわずかな量だけ変化される。波長ディザの周波数は数キロヘルツのオーダーである。ただし、これらアプローチでは、スペクトラムの幅を広げるために、複雑で高電圧のドラビング波形が必要となる。別の方法として、DFB レーザ送信機を小さな信号にて直接に変調する方法も提唱されている。ただし、このアプローチでは、比較的大きなSBS閾値が要求される場合、かなり大きな振幅変調(AM)が発生し、このためにシステムの性能が劣化する。伝送信号のスペクトラムの幅を人為的に広げる操作を含まない点で上述のアプローチとは大きく異なる従来の技術によるもう一つのアプローチにおいては、伝送信号にデュオバイナリ変調(duobinary modulation)を施すことによってSBSが抑圧される。このデュオバイナリ変調法においては、スペクトラム内に光キャリア(搬送波)が存在しないために、通常のバイナリ変調フォーマット(binary modulation format)と比較して、SBS 閾値は増加する。ただし、このデュオバイナリ変調フォーマットは、幾つかのシステム用途には適さない。

【0006】従って、当分野においては、単純で、低電圧の制御信号を用いることができ、特別なコーディング(変調)フォーマットは必要とせず、しかも、残留AMのレベルが低い刺激ブリュアン散乱(SBS)を低減するための方法に対する必要性が存在する。

【0007】

【発明の概要】本発明によると、上述の必要性が広帯域で調整可能なレーザによって解決される。このレーザは、一体化された内部空洞合成反射器を含み、これに調整電圧とディザ信号が加えられる。調整電圧は搬送周波数の粗い調整のために用いられ、ディザ信号はSBSを低減するために用いられる。このディザ信号は、一つの実施例においては正弦波形から成り、もう一つの実施例においては三角波形から成る。

【0008】この調整可能なレーザは、光出力信号を、例えば、WDM システムのN個のチャネルに対応する複数の波長を持つN個の異なる縦モードの任意の一つにて供給する。一例として、このレーザは、MQW のアクティブ領域、アクティブ領域によって生成される刺激放出(つまり、レーザ光)の公称波長を選択するDFB 領域、およびアクティブ領域に光学的に結合されたレーザ出力信号が出ることを許す第1の導波路を含む。この調整可能なレーザは、一つの特徴として、第1の導波路の一端に結合された第2の合成反射器を含み、これによってDFB 領域との間に空洞共振器が形成される。本発明の一面によると、この第2の合成反射器は、MQW のアクティブ領域に光学的に結合されたMQW の第2の領域、一端が第1の導波路に光学的に結合された第2の導波路、および第2の導波路の他端の所に配置された高い反射率を持つ誘電層を含む。レーザ光の搬送周波数を調整するために、順バイアス調整電圧がMQW の第2の領域に加えられ、これ

によってプラズマ効果を通じて屈折率の変化が引き起こされる。さらに、刺激ブリュアン散乱(SBS)を低減するために、MQW の第2の領域にディザ信号が加えられ、これによって出力信号のスペクトラムの幅が広げられる。本発明および本発明の様々な特徴および長所が、以下のより詳細な説明を付録の図面を参照しながら読むことによって一層明らかになるものである。

【0009】

【発明の詳細な記述】刺激ブリュアン散乱(SBS)の低減

図3に示すように、広帯域調整可能な半導体レーザ10は、利得セクション12と一体化された(集積)内部空洞合成反射器セクション14とを含み、これらが互いにタンデムに配置される。電流ドライバ16が利得セクション12に電流を供給し、これによって、出力信号20が生成される。後により詳細に説明するように、バイアス源18から合成反射器セクション14に順バイアスDC電圧を供給し、レーザ内部空洞の光場の位相を制御することで、出力信号の搬送周波数(中心波長)が大まかに調整される。加えて、出力信号は、典型的には、この出力信号が刺激ブリュアン散乱(SBS)を生成する傾向を持つ伝送媒体(図示しないが、例えば、シリカファイバ、)に結合される。本発明の一面によると、このSBSを低減するために、さらに比較的低周波で低電圧のディザ信号が合成反射器セクション14に加えられる。これによって、出力信号のスペクトラムの幅が広げられ、結果としてSBS 閾値が増加される。一般的には、このディザ信号の周波数は、デジタル用途においては、出力信号のビット速度よりもかなり低いことが要求され、アナログ用途においては、変調周波数よりもかなり低いことが要求される。

【0010】例1: 正弦波のディザ信号

上述のように、刺激ブリュアン散乱(SBS) 閾値電力は、レーザエネルギーをより広い帯域幅に渡って分散させることで増加ができる。本発明による調整可能なレーザでは、以下により詳細に説明するように、比較的小さい振幅(例えば、5乃至100mV)と低い周波数(例えば、10乃至100kHz)を持つディザ信号を用いてスペクトラムの幅を大きく広げることができる。以下の実験において示される様々なパラメータは、単に解説のために与えられるもので、特に明示しない限り、本発明の範囲を限定することを意図するものではない。

【0011】本発明によるレーザが、出力信号を1551.8nmの波長にて供給するように調整され、この出力信号にデータが2.5GHzのビット速度にて印加された(データにて変調された)。これら実験においては、ディザ信号として、100mVのオーダーのピーク・ツウ・ピーク電圧および100kHzのオーダーの周波数を持つ正弦波信号が用いられた。図4は、レーザ10のスペクトラムの幅を広げられた出力信号20の半波高

全幅値 (half width at mainum, FWHM) をディザ信号のピーク・ツウ・ピーク電圧の関数として示す。このデータ値は、線形フット (あてはめ) に良く一致することがわかる。図4には、結果としての残留AMについてもディザ信号の電圧の関数として示される。例えば、ディザ信号の電圧が107mV場合、スペクトラムの幅は、7.9GHzなる半波高全幅値 (FWHM) に広がり、結果として、SBS 閾値は、25.9dBmとなる。これとは対照的に、ディザ信号が加えられない場合のSBS 閾値は、10.6dBmであった。こうして、この比較的低い振幅のディザ信号によってSBS 閾値を15.3dBmだけ増加できることがわかった。これに対応する残留AMはたった2.9%であった。

【0012】図5は、SBS 閾値を出力信号20のスペクトル幅の関数として示す。加えてこのデータ値の線形フットも示される。図示するように、スペクトラム幅が1GHz以下であるときは、SBS 閾値は50mW以下であるが、スペクトラム幅がほぼ8GHzまで増加するのに伴いSBS 閾値も350mW以上に増加する。

【0013】1551.8nmとは異なる波長のチャネルの場合も、これら比較的低い振幅のディザ信号にて、匹敵するスペクトルの幅の広がりが見られる。

【0014】例11：三角波ディザ信号

正弦波の代わりに三角波のディザ信号 (例えば、100kHz、95mVのピーク・ツウ・ピーク電圧を持つディザ信号) を用いて、他は例1と同一の実験を行なった。この場合も、スペクトラム幅の広がり (12GHz)、SBS 閾値 (25dBm)、および残留AM (1.2%) については、例1と同様な結果が得られた。ただし、エネルギー分布については、三角波の場合は、ほぼ一様であるのに対して；正弦波の場合は、スペクトラムの両端には、鋭いスパイクが生成され、中央部では、弓形に窪んだセグメントが生成される。(ただし、これら2つのスペクトルは、同一量の積分エネルギー値を持つ)。三角波の場合の方がスペクトラム分布がより一様になるため、ピーク電力は低くなる。図6はスペクトラムの幅が約7GHzの場合について示す。

【0015】広帯域調整

次に、図1および図2との関連で、図3の広帯域調整可能なレーザ源10の構造および動作についてより詳細に説明する。ただし、簡単のために、以下の説明においては、変調器40については割愛する。より詳細には、レーザ源10は、光出力信号20を、異なる波長 λ_i ($i=1, 2, \dots, N$) を持つ複数のN個の縦モードの任意の一つとして生成する。出力信号20は、例えば、WDM システム (図示せず) の伝送軸22に沿って伝播する。ここで考慮するシステムは、低速用途 (例えば、ネットワークの再構成が頻繁でない用途)、並びに比較的高速要素 (例えば、光パケット交換用途) の両方を対象とする。いずれの場合も、調整可能なレーザ源10は、

利得セクション12と合成反射器セクション14とによって形成される空洞共振器を含む。

【0016】利得セクション12は、比較的広い有効バンドギャップを持つMQW のアクティブ領域12.1、アクティブ領域に光学的に結合された一様ピッチの格子を含むDFB領域12.2、およびこれもアクティブ領域に光学的に結合された比較的狭いバンドギャップを持つ第1の導波路12.3を含む。この第1の導波路12.3の出力は、比較的低い反射率を持つ誘電層 (あるいは複数の層の合成、例えば、ARコーティング) 12.7を通じて伝送軸22に結合される。電流ドライバ16によって閾値以上の順バイアス電流が、電極12.4、12.6を介して、アクティブ領域に加えると、レーザ源10は、MQW 領域の組成および利得スペクトラムによって定まる波長の光 (放射線) を生成する。これら調整メカニズムが不在の場合は、DFB 格子のピッチによって利得スペクトラム内のどの縦モードが選択されるべきかが決定される。こうして選択されたモードが第1の導波路12.3に結合され、レーザ出力20となる。後に説明するように、異なる波長を持つ複数のN個の縦モードの任意の一つを、本発明の様々な特徴に従ってレーザ設計を修正することで選択することができる。

【0017】本発明の第1の局面によると、レーザ源10に合成反射器セクション14が設けられる。これは、上述のように、利得セクション12 (つまり、DFB領域12.2) と一体となって、空洞共振器を形成する。より詳細には、合成反射器セクション14は、MQW のアクティブ領域12.1に光学的に結合されたMQW の第2の領域14.1、一端が第1の導波路12.3に光学的に結合された第2の導波路14.3、および第2の導波路14.3の他端に配置された比較的高い反射率を持つ誘電層 (あるいは複数の層の合成、例えば、HRコーティング) 14.7を含む。

【0018】本発明の第2の局面によると、図2に示すように、レーザ源10の第1の導波路12.3は、所定の形状 (例えば、ライズドサイン (rised-sine) 形状) を持ち、これによって、導波路12.3の部分12.3b (つまり、電極12.4の下の部分) が、WDM システムのN個の異なる波長 (つまり、複数のチャネル波長) に対応するN個のゾーンにセグメント化される。図2に λ_i ($i=1, 2, \dots, N$) として示されるこれらゾーンは、導波路12.3bが各ゾーンにおいて格子ラインに対して異なるスロープ (傾き) を持つために、異なる波長の光フィードバックを供給する。ただし、レンジ λ_1 乃至 λ_N に渡っての連続的な調整は、これら波長に対応する全ての縦モードが、本質的に同一の閾値利得を持つ場合にのみ可能となる。この切実な要件は、導波路12.3bの形状 (これはモードの利得スペクトラムの平坦さを決定する) と、ドライブ電流 (これはMQW のアクティブ領域12.1の利得を決定する) との組合せに

10

20

30

40

50

よって達成される。これに加えて、導波路のスロープがより大きなゾーンに対応するモードはより大きな損失を受ける。この大きな波長スロープを持つ長い波長ゾーン λ_x における高い損失を補償するために、導波路12.3には、直線（つまり、線形）部分12.3sが、所定の形状を持つように整形された部分12.3bと合成反射器セクション14の第2の導波路14.3との間に設けられる。電極12.4が直線部分12.3sと重複するために、N番目のモードには追加の利得が与えられ、こうして、より高い損失が相殺される。（つまり、図2に示すように、N番目のモードに対するゾーンは、 λ_x として示される電極12.3bの下の部分に加えて、

$$y_b = W + (W/L_b)(2L_s - x) + (W/\pi)\sin(\pi x/L_b) \quad (1)$$

ここで、xは、光の伝播の方向に沿って（例えば伝送軸22に沿って）の距離を表し、Wは、直線部分12.3sが省かれたときのy(x)の伝送軸22からの最大変位を表し、L_bは、直線導波路部分12.3sの長さを※

$$\Lambda_b = \Lambda_0 [1 + (W/L_b)^2 (\cos \pi x/L_b - 1)^2]^{1/2} \quad (2)$$

ここで、 Λ_0 は、DFB領域12.2の一般的な格子のピッチを表す。これとは対照的に、レンジ $L_b \leq x \leq (L_b + L_s)$ 内では、導波路12.3sの形状は、以下の★

$$y_s = 2W + (2W/L_b)(L_s - x) \quad (3)$$

そして、対応する格子のピッチは、以下の式(4)によって与えられる。☆

$$\Lambda_s = \Lambda_0 [1 + (2W/L_b)^2]^{1/2} \quad (4)$$

2つの導波路セグメントに対して、このようにライズドサイン関数と直線関数の組合せを用いるのが好ましいが、ただし、考慮する個々の特定のアプリケーションに応じて他の関数を用いることもできる。

【0021】本発明の第3の局面によると、レーザ源10に、合成反射器14に電気制御信号を加える手段が設けられる。これは、第2の導波路14.3内を伝播する光の位相、従って、レーザ源全体を変化させるために用いられる。一例として、電気信号がバイアス電圧源18から電極14.4および12.6を介して合成反射器セクション14に加えられる。この制御信号は、様々な形式（つまり、電流あるいは電圧）を取ることができる。ただし、高速用途に対しては、この制御信号として、逆バイアス電圧を用いるのが好ましい。この逆バイアス電圧によって、MQWの第2の領域14.3内に量子拘束シユタルク効果（Quantum Confined Stark Effect: QCSE）が引き起こされ、このQCSE効果により、MQWの第2の導波路領域14.3の屈折率が変化し、結果として第2の導波路14.3内を伝播する光の位相が変化される。他方、SBSの低減のためには、特に、残留AMのレベルを押さえたい場合は、この制御信号として、順バ

* λ'_x として示される電極12.3sの下の部分も含む）。

【0019】導波路部分12.3bおよび12.3sの形状y(x)と、これらの対応する格子ピッチ関数 $\Lambda(x)$ は、以下のようにセットの式によって記述することができる。レンジ $L_s \leq x \leq L$ 内では、導波路12.3bの形状は、本質的に、以下の式(1)によって与えられるライズドサイン形状（raised-sine shape）に従う。

【0020】

【数1】

* 表し、 L_b は、整形された導波路部分12.3bの長さを表す。そして、対応する格子ピッチは、以下の式(2)によって与えられる。

【数2】

★式(3)によって与えられる直線の関数に従う。

【数3】

☆【数4】

30 イアス電圧を用いるのが好ましい。この順バイアス電圧によって、プラズマ効果を介して屈折率の変化が引き起こされる。こうして、加える電圧を変化させることによって、レーザ源10を、第1の導波路12.3のN個のゾーンによってスパンされる波長に対応する比較的広い波長レンジに渡って調整することができる。

【0022】一般的に、単一のパラメータ、例えば、合成反射器セクション14に加えられる制御電圧のレベルを変化させるのみで、レーザ源の波長をかなり広いレンジ（例えば、約2nm）に渡って、比較的高い速度（例えば、50乃至100ps）にて調整することができる。ただし、複数のパラメータ、例えば、制御電圧のレベル、ドライブ電流およびレーザの温度を変化させると、速度は幾分遅くなるが（例えば、ミリ秒乃至ナノ秒のレンジとなるが）、より広い波長レンジ（例えば、10乃至12nm）に渡っての調整が可能になる。

【0023】以下の例は、比較的低速の用途と比較的高速の用途の両方について、本発明の効果を示す。様々な材質、寸法、動作条件、その他のパラメータは、単に解説を目的として示されるものであり、改めて言明されない限り、本発明の範囲を限定することを意図するもので

はない。

【0024】例III：低速調整

レーザ源10が選択的エリア成長MOVPEを用いて製造された。つまり、この方法にて様々な半導体層を成長させ、続いて、通常の処理を用いて、エッチング整形、電極の堆積、その他が行なわれた。MQWの領域12、3および14、3は、ひずみInGaAsP(1.55μmのバンドギャップを持つ)と、障壁層としてのInGaAsP(1.28μmのバンドギャップを持つ)がインタリーブする7層から構成された。縦モードの制御は、1μm幅の周知のCMBH構造を形成することで達成された。CMBH構造の片側に、漏れ電流および寄生キャパシタンスを低減するために、厚さ3μmのInP:Fe電流阻止層が形成された。長さ約80μmの浅い溝19を用いて、電氣的絶縁が強化された。この抵抗値は、典型的には、25kΩとされた。導波路12、3bと導波路12、3sの形状は、本*

* 質的に、それぞれ、上述の式(1)と式(3)に従うように形成され、これらは、WDMシステムの1549.4乃至1560.7nmの波長レンジの8個のチャネル(各チャネルは約1.4nm幅)に対応する8個の縦モードに所定の利得を与えるように設計された。

【0025】バイアス電圧、ドライブ電流および温度を適当に選択することで、レーザ源を8個の全てのチャネルに渡って(11nm以上のレンジに渡って)調整することができた。シングルモードファイバに供給される電力は、典型的には、60mAのドライブ電流において10mWであった。平均サイドモード抑圧は、約36dBであった。以下のテーブルは、3つのパラメータを変動することで達成される比較的広い11nmレンジに渡っての調整の様子を示す。

【0026】

【表1】

チャネル NO.	波長 (nm)	温度 (°C)	バイアス電圧 (V)	駆動電流 (mA)
1	1549.42	25	-1.80	60
2	1551.02	25	0.00	60
3	1552.63	25	0.00	70
4	1554.25	25	1.10	170
5	1555.86	25	1.73	320
6	1557.47	35	1.67	300
7	1559.09	45	2.30	290
8	1560.72	50	2.40	290

【0027】低速調整の場合のこの11nmというレンジは、従来の技術の結果として報告されている最良の結果の二倍以上である(比較のためには、H.Hillmer et al., IEEE J. Selected Topics in Quantum Electronics, Vol. 1, No. 2, pp. 356-362(1995)を参照されたい)。

【0028】例IV：高速調整

例IIIとの関連で説明したのと類似するレーザ源を用いて、単一パラメータによる比較的広い波長レンジに渡っての高速調整の実証を試みた。単一パラメータとしては、合成反射器セクション14に加えられるバイアス電圧が選択された。350psなる周期を持つバイアス電圧にてドライブすることで、レーザ出力が、同一の速度にて、高波長(1551.7nm)と低波長(1550.0nm)との間で交互に調整された。出力は、短波長から長波長に向かっては、1.7nmのレンジを通じて、56psの速度にてスイッチされ、逆方向には、134psの速度にて戻された(10%から90%の上昇

時間)。サイドモード抑圧比は、調整の際で約35dBであった。この高速調整レンジは、従来の技術において報告されている結果と比べてほぼ一桁良い(比較のためには、H.Nakajima et al., OFC Technical Digest, p. 276(1996)を参照されたい)。4つのレベルのバイアス電圧を用いての4つのチャネル(チャネル間隔約0.7nm)の間での高速スイッチングについても試みられたが、この結果、本発明による調整可能なレーザ源は複数のWDMチャネルにアドレスし、これらチャネルを非常に高速度にてスイッチできる能力を持ち、このため、このレーザ源をWDMネットワークに用いることで、光信号をセルベースにて、大きな保護時間を必要とすることなく、ルーティングできることが実証された。

【0029】理解できるように、上述の構成は、単に、本発明の原理が適用できると考えられる幾つかの具体的な実施例を示すことを目的として説明したものである。当業者においては、本発明の原理に従う多様な他の構成

が本発明の精神および範囲から逸脱することなく考案できるものと思われる。例えば、長距離伝送システムにおいては、ファイバの分散がパルス幅と共に増加するために、通常は、狭いライン幅のレーザ源が用いられる。ただし、この場合でも、ドライブ電流が一様でない場合は、これに起因するレーザの空間ホールバーニングのために、ライン幅が増加する傾向がある。従って、MQWのアクティブ領域12、1に実質的に一様なドライブ電流を加えることは非常に重要なことである。これを達成するために、好ましくは、電極12、4はセグメント化されていない単一の電極とされ、MQWのアクティブ領域12、1についても、セグメント化されていない単一の領域とされる。本発明にこれら特徴を採用することで、1乃至2 MHzの帯域幅を達成することが可能となるが、この値は、従来の技術によるセグメント化された設計を用いる方法と比べて一桁の向上を意味する（比較のためには、上述のHillerらおよびNakajimaらの論文を参照されたい）。

【0030】加えて、調整可能なレーザの出力を変調することもできる。これを実現するために、図7に示すような集積光回路が製造された。この光回路は、外部（つまり、空洞外）変調器40を含み、これには一例として電子吸収変調器が用いられる。加えて、この光回路は前述のタイプの調整可能なレーザを含む。ソース42からのデータがレーザ出力にAMの形式（つまり、オンオフキーイング）にて印加される。このようにして、SBSの低減、データの変調、および複数のWDMチャネルの間の波長の調整という3つの機能が単一の集積デバイスにて実現される。

* 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一つの実施例による調整可能な半導体レーザの略断面図である。

【図2】 図1のレーザの略正面図である。

【図3】 図1のレーザの略図であるが、特に、コンパジット反射器セクション14に結合されたSBSを低減するためのディザ信号源30が示される。

【図4】 伝送信号の帯域幅（FWHM）と残留AMを図3のディザ信号源30によって供給されるディザ信号の電圧の関数として示すグラフである。

【図5】 SBS 閾値をスペクトラムの幅（FWHM）の関数として示すグラフである。

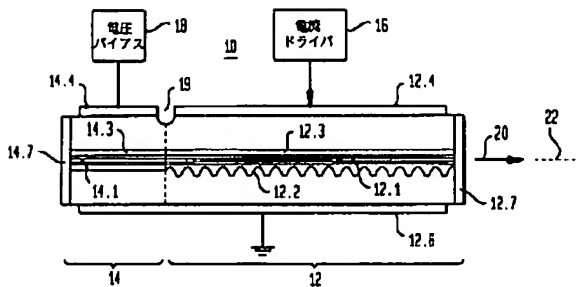
【図6】 正弦波ディザ信号を用いてスペクトラムの幅を広げられた信号と、三角波ディザ信号を用いてスペクトラムの幅を広げられた信号を比較して示すグラフである。座標軸の大きさは任意単位（a. u.）にて示す。

【図7】 本発明の一面による光集積回路送信機の略図である。尚簡潔および明快さのため図1乃至3は実寸では描かれていない。

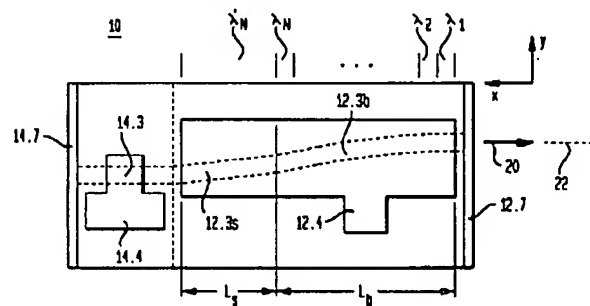
* 【符号の簡単な説明】

- 10 広帯域で調整可能なレーザ送信機
- 12 利得セクション
- 14 合成反射器セクション
- 16 電流ドライバ
- 18 電圧バイアス源
- 20 出力信号
- 30 ディザ信号源
- 40 外部変調器
- 42 データ源

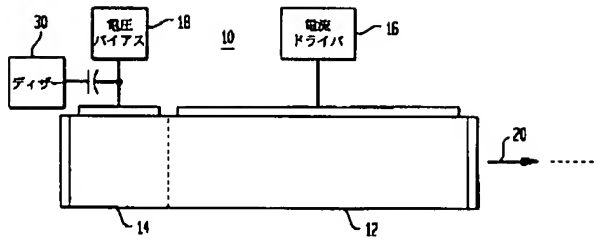
【図1】



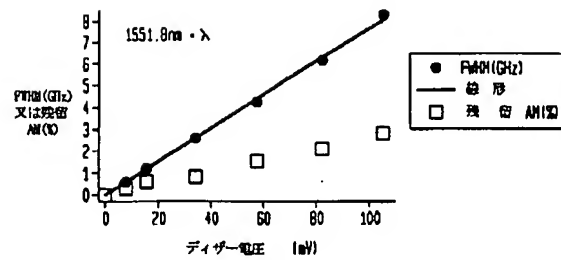
【図2】



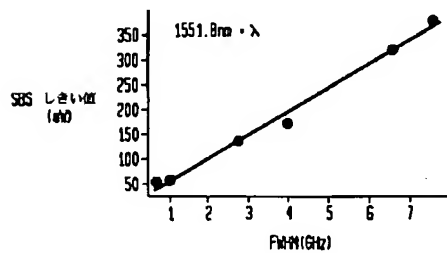
【図 3】



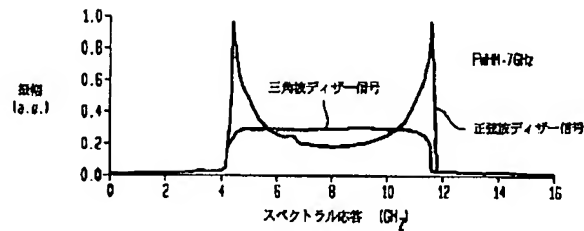
【図 4】



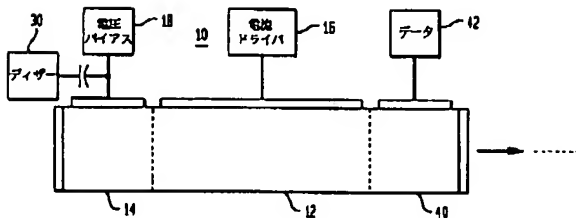
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

(72)発明者 クライド ジョージ ベセア
アメリカ合衆国 08823 ニュージャージー,
フランクリン, グリスト ミル レー
ン 8

(72)発明者 ラーズ エリック イースキルドセン
デンマーク国 デーケー-2800リングバ
イ, 4 テーエッチ, ジェンバネヴジ 3
エッチ

(72)発明者 ジェラルド ナイコラック
アメリカ合衆国 11561 ニューヨーク,
ロング ビーチ ロング アイランド, フ
ランクリン ブウルヴァード 320

(72)発明者 ルーズヴェルト ビービル
アメリカ合衆国 07060 ニュージャージー,
プレーンフィールド, シェリダン ア
ヴェニュー 642

(72)発明者 タウィー タンバン-エック
アメリカ合衆国 07830 ニュージャージー,
カリフォン, ビッグ オーク ウェイ
8

【外国語明細書】

1. Title of Invention

Laser Transmitter for Reduced SBS

2. Claims

1. A laser transmitter comprising

a tunable laser source for delivering to an optical fiber an optical output signal in any one of N different longitudinal modes, said source including

a gain section including an MQW active region, a DFB region optically coupled to said active region for selecting the nominal wavelength of the longitudinal mode which lases, and a first waveguide optically coupled to said active region to permit egress of the laser output signal,

a composite reflector optically coupled to one end of said first waveguide so as to form a cavity resonator with said DFB region, said composite reflector including an MQW second region optically coupled to said MQW active region, a second waveguide having one end optically coupled to said first waveguide, and a relatively high reflectivity dielectric layer disposed at the other end of said second waveguide,

first tuner means for applying a tuning voltage to said MQW second region to induce therein changes in refractive index, thereby to alter the center wavelength of said output signal, and driver means for applying drive current to said active region, and

the current applied to said active region and the shape of said first waveguide being mutually adapted so that said N longitudinal modes have essentially the same threshold gain and so that a portion of said DFB region spanned by said first waveguide is segmented into N zones, each zone providing optical feedback

at a different wavelength corresponding to a different one of said longitudinal modes,
and

a dither source for applying to said MQW second region a dither signal effective to broaden the spectrum of said output signal, thereby to reduce SBS in said fiber.

2. The invention of claim 1 wherein said dither signal has a triangular waveform.
3. The invention of claim 1 further including a modulator for impressing information on said output signal, and wherein the frequency of said dither signal is much less than the bit rate of said modulated output signal when said modulator is a digital system modulator and much less than the modulation frequency when said modulator is an analog system modulator.
4. The invention of claim 3 wherein said modulator comprises an electroabsorption modulator integrated with said laser.
5. The invention of claim 1 wherein said first portion has a raised-sine function of the form defined by equation (1).
6. The invention of claim 1 wherein said active region is a single, non-segmented region and further including a single, non-segmented second electrode for applying said drive current thereto in a substantially uniform manner.
7. The invention of claim 1 wherein said tuning voltage forward biases said composite reflector, thereby to induce refractive index changes therein via the plasma effect and to reduce residual AM in said output signal.
8. A WDM optical system comprising
an optical fiber which tends to generate SBS in response to a laser signal,

a tunable laser source coupled to said fiber for providing an optical output signal in any one of N different longitudinal modes corresponding to N channels of said WDM system, said source including

a gain section comprising a single, non-segmented InGaAsP MQW active region, a DFB region optically coupled to said active region, said DFB region including a grating of uniform pitch for selecting the nominal wavelength of the longitudinal mode which lases, a first InGaAsP waveguide optically coupled to said active region, and a relatively low reflectivity first dielectric reflector coupled to one end of said first waveguide to permit egress of said laser output signal,

a composite reflector optically coupled to the other end of said first waveguide so as to form a cavity resonator with said DFB region, said composite reflector including an InGaAsP MQW second region optically coupled to said MQW active region, a second InGaAsP waveguide having one end optically coupled to said first waveguide, and a relatively high reflectivity second dielectric reflector optically coupled to the other end of said second waveguide,

said first waveguide including a first portion and a second portion optically coupling said first portion to said composite reflector, the shape of said first portion corresponding essentially to the raised-sine function of equation (1) and the shape of said second portion corresponding essentially to the straight line function of equation (3), and

tuner means for applying forward bias voltage to said MQW second region to induce therein a refractive index changes, thereby to alter the center wavelength of said output signal, and driver means for applying drive current to at least those sections of said active region optically coupled to said first waveguide, said second electrode means comprising a single, non-segmented electrode for applying current to said active region in a substantially uniform manner, wherein

said current applied to said active region and the shape of said first waveguide are mutually adapted so that said N longitudinal modes have essentially the same threshold gain and so that a portion of said DFB region spanned by said first waveguide is segmented into N zones, each zone providing optical feedback at a different wavelength corresponding to a different one of said longitudinal modes and a different one said N channels,

an electroabsorption modulator integrated with said laser for imposing information on said output signal, and

a dither source for applying to said MQW second region a dither signal effective to broaden the spectrum of said output signal, thereby to reduce SBS in said fiber, the frequency of said dither signal being much less than the bit rate of said modulated output signal when said modulator is a digital system modulator and much less than the modulation frequency when said modulator is an analog system modulator.

9. The invention of claim 8 wherein said N channels span a wavelength range from about 1549 nm to 1561 nm and said laser source is continuously tunable over said range.

10. An optical system comprising

an optical fiber which tends to generate SBS in response to a laser signal,

an integrated optical circuit for generating a modulated, tunable semiconductor laser output signal coupled to said fiber, said circuit including, arranged in tandem, a tunable laser source for generating said output signal and a semiconductor modulator for impressing information on said output signal, said laser source including a cavity resonator formed by a DFB gain section for generating said laser signal at a given center wavelength and a composite reflector for altering the phase of the laser signal

within said resonator, a tuning source for applying a tuning voltage to said composite reflector to alter said phase and hence the center wavelength of said output signal, and a dither source for applying to said composite reflector a dither signal for broadening the spectrum of said output signal, thereby to reduce SBS in said fiber.

11. The invention of claim 10 wherein said dither signal has a triangular waveform

12. The invention of claim 10 wherein the frequency of said dither signal is much less than the bit rate of said modulated output signal when said modulator is a digital system modulator and much less than the modulation frequency when said modulator is an analog system modulator.

3. Detailed Explanation of the Invention

Cross-Reference to Related Applications

This application was concurrently filed with application Serial No. 08/954395 entitled *Broadband Tunable Semiconductor Laser Source* (Adams 1-16-1-6-5-2-11-57), with application Serial No. 08954575 entitled *Sub-Carrier Multiplexing in Broadband Optical Networks* (Adams 2-17-7-6-12), and with application Serial No. 08/954022 entitled *Laser Transmitter for Reduced Signal Distortion* (Adams 3-18-8-7-13).

Field of the Invention

This invention relates generally to laser transmitters and, more particularly, to broadband, tunable semiconductor laser transmitters which reduce stimulated *Brillouin* scattering (SBS) in fiber optic systems.

Background of the Invention

SBS is one of many nonlinear phenomena which can adversely affect system performance in fiber optic systems. Brillouin scattering within a silica optical fiber results from photons being scattered by localized refractive index variations induced by acoustic (i.e., sound) waves. These refractive index variations are caused by acoustic vibrations in the silica lattice that makes up the fiber core. Furthermore, owing to the dependence of refractive index on light intensity in the nonlinear regime, the presence of intense light in the fiber will also induce lattice vibrations which, in turn, induce acoustic waves, that then scatter more light. When the SBS threshold power is exceeded (as low as about 10 mW per channel in some WDM systems), light from an intense forward propagating signal (e.g., the transmitted signal) can provide gain for (i.e., stimulate) a backward propagating signal (known as a *Stokes* signal). In this fashion, the Stokes signal can degrade the transmitted signal significantly.

Yet many applications require that the transmitted signal be launched at relatively high power, and anything, including SBS, which limits the maximum launch power presents a problem. For example, limiting the launch power reduces the allowable un-repeated span length in fiber optic transmission systems, as well as the number of splits (or fanouts) which can be utilized in a fiber-based distribution system (e.g., a CATV system). One way to alleviate this problem is to increase the power at which the onset of SBS occurs (i.e., increase the SBS *threshold*). This threshold is arbitrarily defined as the level of launched optical power at which the power of the backward Stokes signal becomes equal to the power of the Rayleigh scattered signal; i.e., the total reflected power has doubled.

The prior art has devised numerous schemes for increasing the SBS threshold, but none is entirely satisfactory. Most of these schemes rely on the fact that the efficiency for SBS decreases as the linewidth of the transmitted signal source is increased. Consequently, artificially broadening the spectrum of that source via modulation serves to increase the SBS threshold. One approach calls for an external phase modulator to modulate the output of a laser transmitter, thereby broadening the spectrum of the transmitted signal by randomly changing its phase. A second approach utilizes wavelength dithering or detuning. A small specialized heating element is used to change the local laser temperature and thus its wavelength by a small amount. The frequency of the wavelength dither is on the order of a few kilohertz. However, these approaches require complex or high-voltage driving waveforms to broaden the spectrum. Alternatively, small-signal direct modulation of a DFB laser transmitter has also been suggested. But, when relatively large SBS thresholds are required, this approach results in substantial amplitude modulation (AM) which may degrade system performance. Another prior art approach, significantly different in that it does not involve artificially broadening the transmitted signal spectrum, suppresses SBS by applying duobinary modulation to the transmitted signal. Due to the absence of an optical carrier in the spectrum, the SBS threshold is increased compared to a

conventional binary format. However, the duobinary format is not suitable for some systems applications.

Thus, a need remains in the art for an SBS reduction technique that can be implemented with a simple, low voltage control signal, does not require special coding formats, and has low levels of residual AM.

Summary of the Invention

This need is addressed in a broadband, tunable laser which includes an intracavity, integrated composite reflector to which a tuning voltage and a dither signal are applied. The tuning voltage provides coarse tuning of the center wavelength, whereas the dither signal provides for SBS reduction. In one embodiment the dither signal comprises a sinusoidal waveform; in another it comprises a triangular waveform.

The tunable laser provides an optical output signal in any one of N different longitudinal modes at wavelengths corresponding, for example, to the N channels of a WDM system. Illustratively, the laser comprises an MQW active region, a DFB region for selecting the nominal wavelength of stimulated emission (i.e., laser light) generated by the active region, and a first waveguide optically coupled to the active region to permit egress of the laser output signal. The tunable laser is characterized in that a composite second reflector is coupled to one end of the first waveguide so as to form a cavity resonator with the DFB region. In accordance with one aspect of our invention, the second reflector includes an MQW second region optically coupled to the MQW active region, a second waveguide having one end optically coupled to the first waveguide, and a high reflectivity dielectric layer disposed at the other end of the second waveguide. In order to tune the center wavelength of the laser light, a forward bias tuning voltage is applied to the MQW second region to induce changes in refractive index through the plasma effect. In order to reduce SBS, the dither signal is also applied to the MQW second region to broaden the spectrum of the output signal.

Detailed Description of the Invention

SBS Reduction

With reference now to FIG. 3, a broadband, tunable semiconductor laser 10 comprises a gain section 12 and an intracavity, integrated composite reflector section 14 arranged in tandem with one another. A current driver 16 supplies current to the gain section in order to generate a output signal 20. As described more fully hereinafter, a forward bias DC voltage supplied to reflector section 14 by bias source 18 coarsely tunes the center wavelength of the output signal by controlling the phase of the optical field within the laser cavity. In addition, the output signal is typically coupled to a transmission medium (not shown; e.g., a silica optical fiber) in which the signal tends to generate SBS. In order to reduce SBS in accordance with one aspect of our invention, a relatively low frequency, low voltage dither signal is also supplied to reflector section 14 in order to broaden the spectrum of the output signal and hence increase the SBS threshold. In general, the frequency of the dither signal should be much less than the bit rate of the output signal in digital applications and much less than the modulation frequency in analog applications.

Example I: Sinusoidal Waveform Dither

As discussed above, the SBS threshold power is increased when the laser energy is distributed over a broader bandwidth. With our tunable laser, described in greater detail below, significant spectral broadening is achieved with relatively small amplitude (e.g. 5-100 mV), low frequency (e.g., 10-100 kHz) dither signals. The various parameters cited in the following experiments are provided by way of illustration only, and are not intended to limit the scope of the invention unless otherwise so stated explicitly.

The laser was tuned to provide an output signal at a wavelength of 1551.8 nm and was modulated with data at 2.5 GHz bit rate. In these experiments the dither signal was a sinusoidal waveform having peak-to peak voltage and frequency on the order of 100 mV and 100 kHz, respectively. The FWHM of the broadened spectrum of the output signal 20 of the laser 10 as function of dither signal peak-to-peak voltage

is shown in FIG. 4, where the data closely follows a linear fit. The resulting residual AM as a function of dither signal voltage is also included. For example, a dither signal voltage of 107 mV broadened the spectrum to a FWHM of 7.9 GHz, resulting in an SBS threshold of 25.9 dBm. In contrast, with no dither signal applied the SBS threshold was 10.6 dBm. Thus, an increase in SBS threshold of 15.3 dBm was obtained in response to the relatively low amplitude dither signal. The corresponding residual AM was only 2.9 %.

The SBS threshold as a function of spectral width of the output signal 20 is plotted in FIG. 5, along with a linear fit to the data. As shown, the threshold increases from less than 50 mW at a spectral width less than 1 GHz to over 350 mW at spectral widths of nearly 8 GHz.

Channels at wavelengths other than 1551.8 nm show comparable spectral broadening with these relatively low amplitude dither signal voltages.

Example II: Triangular Waveform Dither

We performed experiments similar to Example I except that we substituted a triangular waveform dither signal (e.g., 100 kHz, 95 mV peak-to-peak) for the sinusoidal waveform. Comparable results were obtained in terms of spectral broadening (12 GHz), SBS threshold (25 dBm) and residual AM (1.2%). However, the energy distribution is much more nearly uniform for the case of the triangular waveform; the sinusoidal waveform produces definite spikes at each end of the spectrum and a bowed segment in the center. (Although the two spectra have the same integrated energy.) The more nearly uniform spectral distribution of the triangular waveform results in lower peak power. FIG. 6 shows the case for a spectral width of about 7 GHz.

Broadband Tuning

Turning now to FIGs. 1 and 2, we describe in greater detail the structure and operation of the broadband, tunable laser source 10 of FIG. 3. The source 10 generates an optical output signal 20 in any one of a plurality of N longitudinal modes each having a different wavelength

λ_i ($i = 1, 2, \dots, N$). The output signal 20 propagates along a transmission axis 22 of, for example, a WDM system (not shown). The systems contemplated may embrace low speed applications (e.g., infrequent network reconfigurations) as well as relatively high speed applications (e.g., optical packet switches). In any case, the tunable source 10 comprises a cavity resonator formed by a gain section 12 and a composite reflector section 14.

The gain section 12 includes a relatively wide effective bandgap MQW active region 12.1, a DFB region 12.2 comprising a uniform pitch grating optically coupled to the active region, and a relatively narrower bandgap first waveguide 12.3 optically coupled to the active region. The output of the waveguide 12.3 is coupled to transmission axis 22 through a relatively low reflectivity dielectric layer (or composite of layers; e.g., an AR coating) 12.7. When current driver 16 supplies above-threshold forward bias current to the active region via electrodes 12.4 and 12.6, the laser source 10 generates light (radiation) at a wavelength determined by the composition and gain spectrum of the MQW region. In the absence of tuning mechanisms, the pitch of the DFB grating determines which longitudinal mode within the gain spectrum is selected. This mode is coupled into the first waveguide 12.3 and provides the laser output 20. As discussed later, any one of a plurality of N longitudinal modes at different wavelengths can be selected by modifying the laser design in accordance with various aspects of our invention.

In one aspect, the laser source 10 is provided with the composite reflector section 14 which, as indicated above, forms a cavity resonator with the gain section 12 (i.e., with the DFB region 12.2). More specifically, section 14 includes an MQW

second region 14.1 optically coupled to the MQW active region 12.1, a second waveguide 14.3 having one end optically coupled to the first waveguide 12.3, and a relatively high reflectivity dielectric layer (or composite of layers; e.g., an HR coating) 14.7 disposed at the other end of the second waveguide 14.3.

In a second aspect shown in FIG. 2, the laser source 10 is provided with a first waveguide 12.3 having a predetermined shape (e.g., a raised-sine shape) which effectively segments the portion 12.3b of the waveguide 12.3 (i.e., the portion under electrode 12.4) into N zones corresponding to the N different wavelengths of WDM system (i.e., the channel wavelengths). These zones, labeled λ_i ($i = 1, 2 \dots N$) in FIG. 2, each provide optical feedback at a different wavelength because the waveguide 12.3b has a different slope (i.e., relative to the grating lines) within each zone. However, continuous tuning over the range λ_1 to λ_N is possible only if all of the longitudinal modes corresponding to these wavelengths have essentially the same threshold gains. This desideratum is achieved by a combination of the shape of the waveguide 12.3b (which determines the flatness of the gain spectrum of the modes) and the drive current (which determines the gain of the MQW active region 12.1). In addition, modes corresponding to zones in which the waveguide slope is larger experience higher loss. To compensate for the higher loss in the longest wavelength zone λ_N , which has the highest waveguide slope, the waveguide 12.3 is provided with a straight (i.e., linear) portion 12.3s disposed between the shaped portion 12.3b and the second waveguide 14.3 of the composite reflector section 14. Since the electrode 12.4 overlaps the portion 12.3s, the Nth mode is provided with additional gain to offset the higher losses (i.e., the zone for the Nth mode includes not only the region labeled λ_N under electrode 12.3b in FIG. 2, but also the region labeled λ'_N under electrode 12.3s).

The shape $y(x)$ of the waveguide portions 12.3b and 12.3s and their corresponding grating pitch functions $\Lambda(x)$ can be described by a set of equations as

follows. In the range $L_s \leq x \leq L_s + L_b$ the shape of the waveguide 12.3b follows essentially a raised-sine shape given by

$$y_b = W + (W/L_b)(2L_s - x) + (W/\pi)\sin(\pi x/L_b) \quad (1)$$

where x is distance along the direction of light propagation (e.g., along transmission axis 22), W is the maximum displacement of $y(x)$ from axis 22 in the case where the straight portion 12.3s is omitted, L_s is the length of the straight waveguide portion 12.3s, and L_b is the length of the shaped waveguide portion 12.3b. The corresponding grating pitch is given by

$$\Lambda_b = \Lambda_0 [1 + (W/L_b)^2 (\cos \pi x/L_b - 1)^2]^{1/2} \quad (2)$$

where Λ_0 is the pitch of the uniform grating of the DFB region 12.2. In contrast, in the range

$L_s + L_b \leq x \leq (L_s + L_b) + L_s$ the shape of the waveguide 12.3s follows a straight line function given by

$$y_s = 2W + (2W/L_b)(L_s - x) \quad (3)$$

whereas the grating pitch is given by

$$\Lambda_s = \Lambda_0 [1 + (2W/L_b)^2]^{1/2}. \quad (4)$$

Although the combination of a raised-sine function and a straight line function for the two waveguide segments is preferred, other functions can be utilized depending on the particular application contemplated.

In a third aspect of our invention, the laser source 10 is provided with means for applying an electrical control signal to the composite reflector section 14 which effectively alters the phase of light propagating in the second waveguide 14.3 and hence in the laser source as a whole. Illustratively, an electrical signal from source 18

is applied to section 14 via electrodes 14.4 and 12.6. The control signal may take on several forms (i.e., current or voltage), but for high speed applications it is preferably a reverse bias voltage which induces the Quantum Confined Stark Effect (QCSE) in the MQW second region 14.3. The QCSE, in turn, induces changes in the refractive index of the MQW region 14.3 and hence in the phase of the light propagating in the second waveguide 14.3. On the other hand, for SBS reduction, particularly with low levels of residual AM, the control signal is preferably a forward bias voltage which induces refractive index changes via the plasma effect. Therefore, by varying the applied voltage the laser source 10 can be tuned over a relatively broad range of wavelengths corresponding the wavelengths spanned by the N zones of the first waveguide 12.3.

In general, varying only a single parameter, such as the control voltage level applied to the composite reflector section 14 enables the wavelength of the laser source to be tuned over a moderately broad range (e.g., about 2 nm) at relatively high speeds (e.g., 50-100 ps). However, varying several parameters, such as the control voltage level, the drive current and the temperature of the laser, enables tuning over a much broader wavelength range (e.g., 10-12 nm), albeit at more modest speeds (e.g., in the millisecond to nanosecond range).

The following examples demonstrate the efficacy of our invention for both relatively low speed and relatively high speed applications. The various materials, dimensions, operating conditions and other parameters are provided by way of illustration only, and are not to be construed as limitations on the scope of the invention unless expressly so indicated.

Example III: Low Speed Tuning

A laser source 10 was fabricated using selective area growth MOVPE to grow the various semiconductor layers and standard processing to etch shapes, deposit electrodes and the like. The MQW regions 12.3 and 14.3 comprised 7 layers of

strained-InGaAsP (1.55 μm bandgap) interleaved with barrier layers of InGaAsP (1.28 μm bandgap). Transverse mode control was accomplished by forming a 1 μm wide well-known CMBH structure. InP:Fe current blocking layers 3 μm thick were formed on either side of the CMBH structure in order to reduce leakage current and parasitic capacitance. A shallow groove 19 about 80 μm long was used to enhance electrical isolation with a typical resistance of 25 k Ω . The waveguides 12.3b and 12.3s had shapes defined essentially by equations (1) and (3) above and were designed to provide gain in eight longitudinal modes corresponding to eight channels (each about 1.4 nm wide) of a WDM system at wavelengths ranging from 1549.4 to 1560.7 nm.

We were able to tune the laser source through all eight channels (over more than an 11 nm range) by appropriate choice of bias voltage, drive current and temperature. The typical power delivered into a single mode fiber was 10 mW at a drive current of 60 mA. The mean side mode suppression ratio was about 36 dB. The following table illustrates how the three parameters were varied to achieve tuning over a relatively broad 11 nm range.

CHANNEL NO.	WAVELENGTH (nm)	TEMPERATUR E (°C)	BIAS VOLTAGE (V)	DRIVE CURRENT (mA)
1	1549.42	25	-1.80	60
2	1551.02	25	0.00	60
3	1552.63	25	0.00	70
4	1554.25	25	1.10	170
5	1555.86	25	1.73	320

6	1557.47	35	1.67	300
7	1559.09	45	2.30	290
8	1560.72	50	2.40	290

This low speed tuning range of 11 nm is more than double the best result reported in the prior art (Cf. H.Hillmer et al., *IEEE J. Selected Topics in Quantum Electronics*, Vol. 1, No. 2, pp.356-362 (1995); incorporated herein by reference).

Example IV: High Speed Tuning

A laser source similar to the one described in Example III was utilized to demonstrate single parameter, high speed tuning over a relatively broad wavelength range. The single parameter varied was the bias voltage applied to the composite reflector section 14. When driven with a bias voltage having a 350 ps period, the laser output tuned back and forth between high (1551.7 nm) and low (1550.0 nm) wavelengths at the same rate. The output switched from short to long wavelength over a 1.7 nm range in 56 ps and switched back in 134 ps (10% to 90% rise time). The side mode suppression ratio was about 35 dB during tuning. This high speed tuning range is nearly an order of magnitude better than that previously reported by the prior art (Cf., H. Nakajima et al, *OFC Technical Digest*, p. 276 (1996); incorporated herein by reference). High speed switching between four channels (channel spacing 0.7 nm) was also demonstrated using a 4-level bias voltage. The ability of our tunable laser source to address multiple WDM channels and to switch between them at very high speeds should enable optical routing on a cell-by-cell basis in a WDM network without requiring large guard times.

It is to be understood that the above-described arrangements are merely illustrative of the many possible specific embodiments which can be devised to represent application of the principles of the invention. Numerous and varied other arrangements can be devised in accordance with these principles by those skilled in the art without departing from the spirit and scope of the invention. For example, in long distance transmission systems a narrow linewidth laser source is particularly important because fiber dispersion tends to increase pulse width. But, spatial hole burning in the laser, which can be caused by non-uniform current drive, tends to increase linewidth. Therefore, it is particularly advantageous that the drive current be applied substantially uniformly to the MQW active region 12.1. To this end, it is preferable that the electrode 12.4 be a single, non-segmented electrode and, likewise, that the active region 12.1 be a single, non-segmented region. By employing these features in our invention we were able to obtain linewidths of 1-2 MHz, which we expect would be an order of magnitude improvement compared to prior art segmented designs (Cf., Hillmer et al. and Nakajima et al., *supra*).

In addition, the output of the tunable laser may be modulated. Thus, as shown in FIG. 7, we have fabricated an integrated optical circuit including an external (i.e., extracavity) modulator 40, in particular an electroabsorption modulator, and a tunable laser of the type previously described. Data from source 42 was imposed on the laser output in the form of AM (i.e., on-off keying). In this fashion, the multiple functions of SBS reduction, data modulation and wavelength tuning among WDM channels may be realized with a single integrated device.

4. Brief Explanation of the Drawings

Our invention, together with its various features and advantages, can be readily understood from the following more detailed description taken in conjunction with the accompanying drawing, in which:

FIG. 1 is a schematic cross-sectional view of a tunable semiconductor laser in accordance with one embodiment of our invention;

FIG. 2 is a schematic top view of the laser of FIG. 1;

FIG. 3 is a schematic view of the laser of FIG. 1 in which a dither signal source 30 is coupled to the composite reflector section 14 in order to reduce SBS;

FIG. 4 is a graph of transmitted signal bandwidth (FWHM) and residual AM versus the voltage of the dither signal supplied by dither source 30 of FIG. 3;

FIG. 5 is a graph of SBS threshold as a function of spectral width (FWHM);

FIG. 6 is a graph comparing the spectrum of the transmitted signal as broadened by a sinusoidal waveform dither signal with that broadened by a triangular waveform dither signal. Amplitude on the ordinate is presented in arbitrary units (a.u.); and

FIG. 7 is schematic of an optical integrated circuit transmitter in accordance with another aspect of our invention.

In the interests of simplicity and clarity, FIGs 1-3 have not been drawn to scale.

FIG. 1

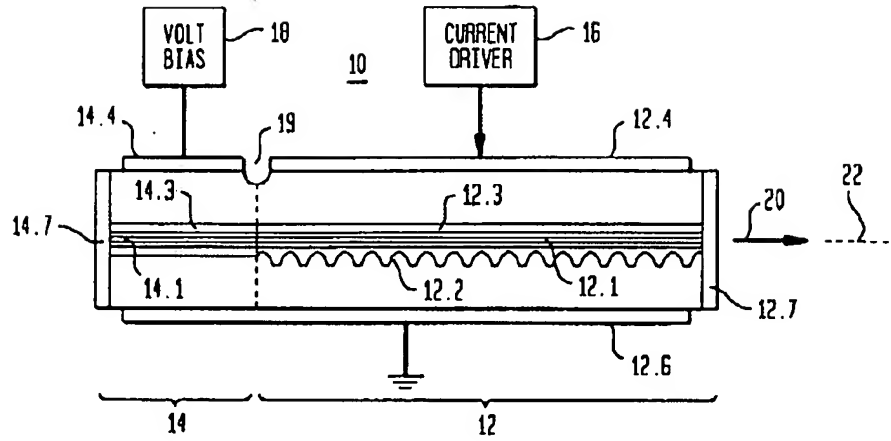


FIG. 2

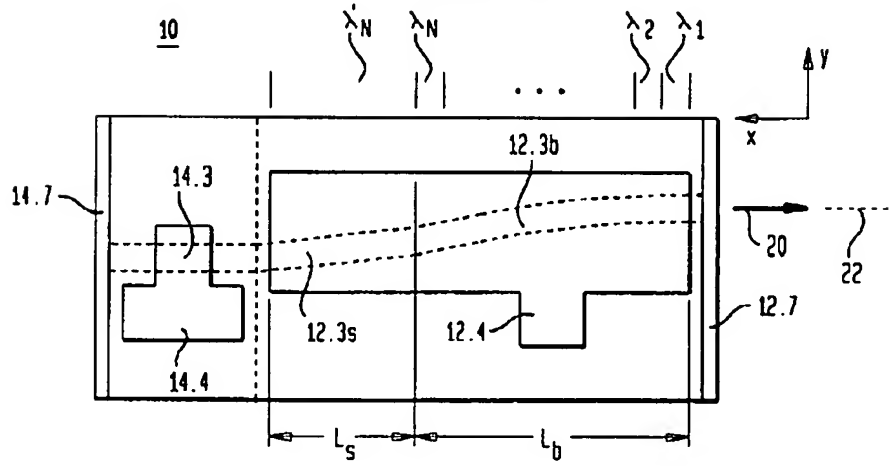


FIG. 3

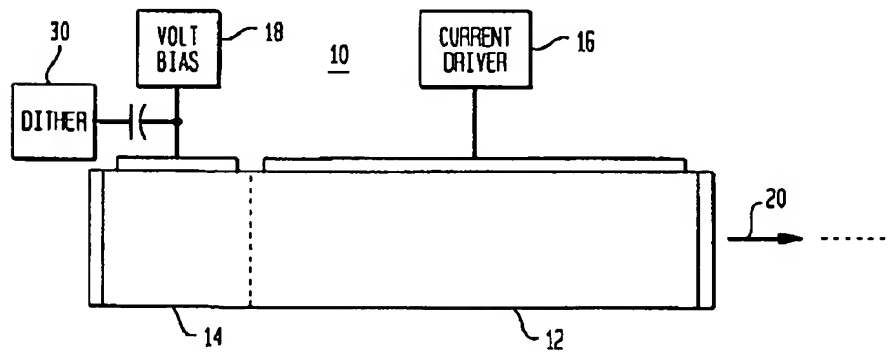


FIG. 4

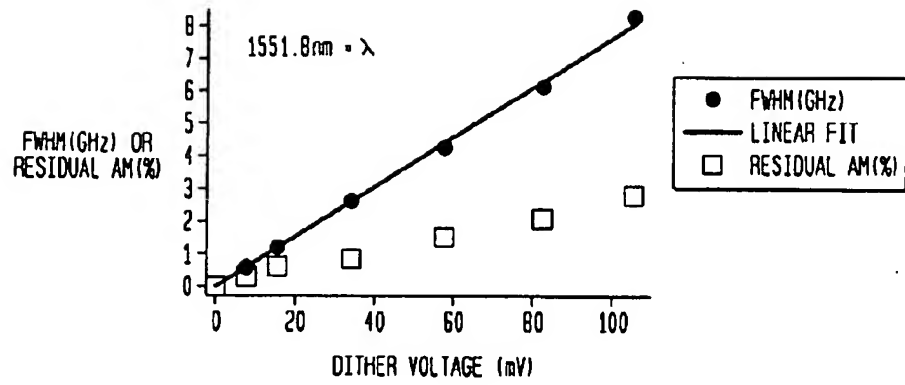


FIG. 5

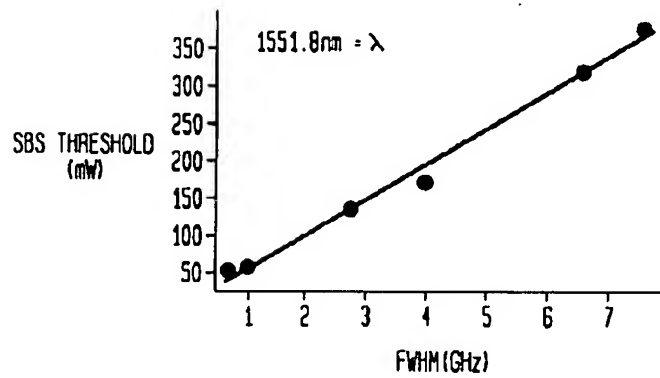


FIG. 6

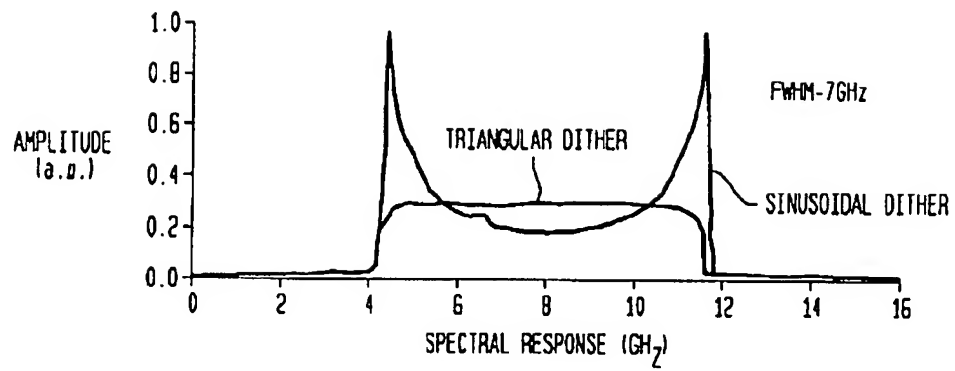
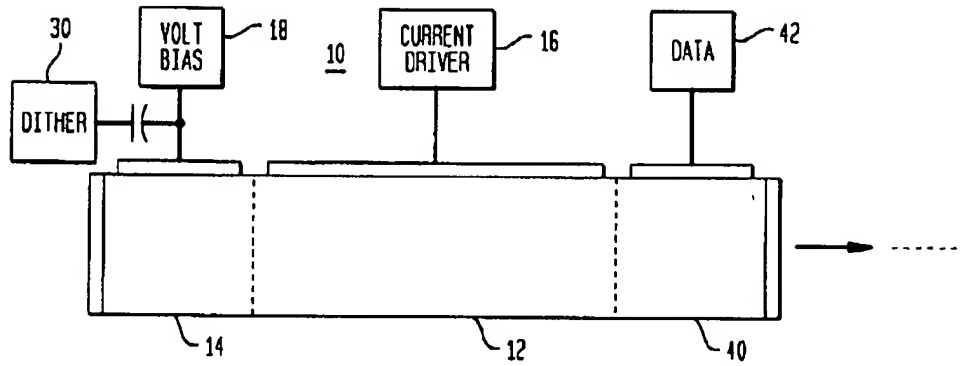


FIG. 7



1. Abstract

A tunable semiconductor laser comprises a gain section having an MQW active region, a uniform pitch grating DFB region, and first waveguide. A composite reflector, including a second MQW region and a second waveguide, forms a cavity resonator with the DFB region. A tuning voltage applied to the composite reflector induces refractive index changes, thereby allowing the center wavelength to be altered. A dither signal applied the composite reflector broadens the spectrum of the laser output, thereby reducing SBS in fiber optic systems

2. Representative Drawing

FIG. 1